

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE  
BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

" TRANSPORTE DE ARENA POR ACCION  
DEL VIENTO EN UNA PLAYA NATURAL "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

O C E A N O L O G O

P R E S E N T A

E D U A R D O G I L S I L V A

E N S E N A D A , B A J A C F A . N O V I E M B R E 1 9 8 7

## RESUMEN

En 1985, se llevaron a cabo experimentos sobre el transporte eólico en una playa natural de la Bahía de Todos Santos, B.C., México, en tres épocas del año, con el fin de comparar el transporte medido directamente, a través de trampas de sedimento, con resultados calculados por medio de modelos de predicción propuestos por Bagnold (1954), Kawamura (1951) y Hsu (1974) que son de los más usados. Se utilizaron dos tipos de trampas de sedimento, datos de rapidez y dirección de viento medidos en una estación meteorológica autónoma y se determinó el contenido de humedad del sedimento, para fines de corrección de resultados. Se encontró para este estudio que en los modelos utilizados existen diferencias significativas entre sí y con respecto al transporte medido con las trampas; que el modelo propuesto por Kawamura es el más confiable para el cálculo del transporte. También se encontró que las trampas horizontales son las que mejores resultados proporcionan, y por último que la humedad del sedimento debe de ser analizada con mucha precisión.

" TRANSPORTE DE ARENA POR ACCION  
DEL VIENTO EN UNA PLAYA NATURAL "

T E S I S  
QUE PRESENTA :  
EDUARDO GIL SILVA

A P R O B A D A P O R :



P R E S I D E N T E D E L J U R A D O

O C . O S C A R E F R A I N G O N Z A L E Z Y A J I M O V I C H



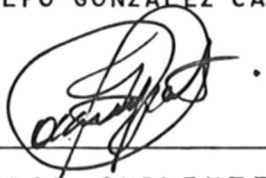
S I N O D A L P R O P I E T A R I O

M C . A D O L F O G O N Z A L E Z C A L V I L L O



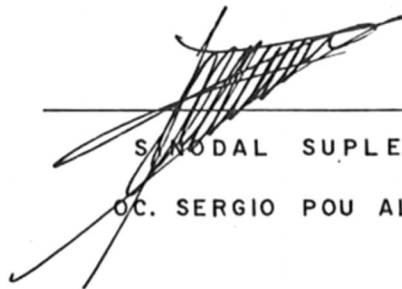
S I N O D A L P R O P I E T A R I O

O C . A S D R U B A L M A R T I N E Z D I A Z D E L E O N



S I N O D A L S U P L E N T E

D R . F R A N C I S C O O C A M P O T O R R E S



S I N O D A L S U P L E N T E

O C . S E R G I O P O U A L B E R U

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Enrique Gil Castro y Guadalupe Silva de Gil.

A MIS HERMANOS

Elsa, Enrique, Anabel y Ernesto.

A MI NOVIA

Ma. Eugenia.

A los que debo en gran parte mi formación profesional.

## AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la Universidad Autónoma de Baja California y así mismo a las secciones de Oceanografía Física y Geológica por todo el apoyo otorgado para el desarrollo y realización de este trabajo.

Agradezco al personal de la Dirección de Investigación Científica y Superación Académica (S.E.P.) y Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su apoyo para la realización de esta tesis de licenciatura.

Al los oceanólogos Asdrubal Martínez Díaz de León, Oscar E. Delgado González, Rafael Blanco Betancourt, Sergio I. Larios Castillo, Alfredo Chee Barragán, Roberto Pérez Higuera, Amilcar Cupul Magaña, por su valiosa ayuda en la recolección y análisis de las muestras, y en especial al M. en C. Adolfo González Calvillo por sus enseñanzas, críticas y recomendaciones.

A mi director de tesis Oc. Oscar Efraín González Yajimovich, por todo el tiempo invertido así como también el apoyo, consejos y sugerencias hechas en la realización de este trabajo.

A mis sinodales M. en C. Adolfo González Calvillo, Oc. Asdrubal Martínez Díaz de León, Dr. Francisco Javier Ocampo Torres y Oc. Sergio Pou Alberú por sus acertadas correcciones, críticas y sugerencias hechas a este trabajo.

# I N D I C E

I	INTRODUCCION .....	1
	1.1 Antecedentes .....	3
	1.1.1 Generales .....	3
	1.1.2 Particulares .....	9
	1.2 Objetivo .....	9
II	AREA DE ESTUDIO .....	10
III	METODOLOGIA .....	13
	3.1 Técnicas de campo .....	13
	3.1.1 Vientos .....	13
	3.1.2 Transporte directo medido a través de trampas .....	14
	3.1.3 Humedad de la capa superficial .....	14
	3.2 Técnicas de laboratorio .....	16
	3.2.1 Vientos .....	16
	3.2.2 Transporte directo medido a través de trampas .....	16
	3.2.3 Humedad de la capa superficial .....	18
	3.2.4 Análisis del tamaño de los sedimentos ...	18
	3.2.5 Densidad del sedimento .....	18
	3.2.6 Predicción del transporte .....	18
IV	RESULTADOS .....	22
	4.1 Trampas verticales .....	22
	4.2 Trampas horizontales .....	24
	4.3 Predicción del transporte .....	24
	4.3.1 Modelo de Bagnold .....	24
	4.3.2 Modelo de Hsu .....	25
	4.3.3 Modelo de Kawamura .....	25
	4.4 Dirección predominante del viento .....	27
V	DISCUSION .....	29
	5.1 Trampas verticales .....	29
	5.2 Trampas horizontales .....	32
	5.3 Modelos de predicción .....	32
	5.3.1 Modelo de Bagnold .....	32
	5.3.2 Modelo de Hsu .....	33
	5.3.3 Modelo de Kawamura .....	35
VI	CONCLUSIONES .....	38
VII	BIBLIOGRAFIA .....	39
	APENDICE 1 .....	42
	APENDICE 2 .....	43

## INDICE DE TABLAS

- I. Resultado del transporte eólico de acuerdo a los modelos propuestos por Bagnold, Hsu y Kawamura así como también de mediciones directas por medio de trampas ..... 23
- II. Dirección predominante del viento para los períodos de muestreo en porcentaje ..... 26

## INDICE DE FIGURAS

1. Localización de la zona de estudio ..... 11
2. A) Perspectiva de la estructura interna de la trampa de arena  
B) Vista frontal de la misma ..... 15
3. Localización de los puntos de muestreo, sobre el perfil de la zona de estudio ..... 17
4. A) Diagrama general que muestra la relación entre un intervalo de direcciones de viento con respecto a la boca de entrada de una trampa.  
B) Diagrama particular que muestra la disposición entre la dirección de un rayo de viento y la proyección de la boca de entrada de una trampa..... 20

## I INTRODUCCION

Uno de los procesos más importantes en las costas es el transporte de sedimentos, el cual es efectuado por la acción de diferentes agentes, entre los que destacan el oleaje, las corrientes litorales y el viento.

El viento, como agente de transporte, es importante ya que al transportar la arena de la playa hacia la parte superior de la misma, da lugar a la formación de dunas o barras arenosas que actúan como barreras que protegen la zona continental aledaña disipando o amortiguando en gran parte los efectos producidos por la energía del oleaje; o tienden al azolve o erosión de material en áreas económicamente aprovechables que se encuentran próximas a la zona costera.

La evaluación del transporte de arena por la acción del viento se puede realizar mediante dos métodos; directamente en el campo utilizando trampas de arena o por medio de modelos empíricos que predicen el transporte de arena a partir de datos de viento y de las características de los sedimentos de la zona de estudio.

La diferencia entre estos dos métodos de evaluación es en cuanto a tiempo, instrumentación y costos. En sí, el uso de los modelos de predicción es más factible, sin embargo, los modelos propuestos han sido diseñados con base en

estudios de laboratorio bajo condiciones controladas, siendo pocos los trabajos realizados en zonas costeras donde las condiciones son dinámicas.

Durante el año de 1985 la sección de oceanografía física del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (I.I.O.) de la Universidad Autónoma de Baja California (U.A.B.C.), llevó a cabo un experimento, que consistió en la obtención de información sobre oleaje, vientos, corrientes y sedimentos, así como de perfiles de playa dentro de una playa natural de la Bahía de Todos Santos, B.C. El presente estudio se realizó dentro de este proyecto.

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Generales

Desde principios de siglo se han realizado trabajos relacionados al transporte de arena por acción del viento, con el fin de resolver problemas originados por este proceso. Estos han sido desarrollados principalmente en zonas desérticas siendo pocos los realizados en zonas costeras.

Entre los de mayor relevancia tenemos los de: Von-Karman (1934), O'Brien y Rindlaub (1936), Bagnold (1954), Kawamura (1951) y Zingg (1953); todos con el objetivo primordial de conocer el comportamiento del viento, así como su relación con el movimiento de las partículas de sedimento. Como resultado de estos trabajos, se obtuvo una ecuación general para representar el perfil de velocidades de viento:

$$U = KU \cdot \text{LOG} \left( \frac{Z}{Z'} \right) + U_{c.} \quad (1)$$

donde  $U$  es la velocidad medida a una altura  $Z$  de la superficie,  $U_c$  es la velocidad cortante ejercida por el viento,  $U_{c.}$  la velocidad crítica a partir de la cual empieza el movimiento de las partículas,  $Z'$  es la altura crítica

para que exista dicho movimiento y K es la constante de Von-Karman igual a 6.13.

La mayoría de los estudios sobre transporte eólico toman como base esta ecuación general de distribución de velocidades del viento y son realizados con el fin de:

- a).- Determinar los factores que intervienen en el transporte.
- b).- Diseñar modelos de predicción.
- c).- Obtener comparaciones entre algunos de estos modelos.

Entre los trabajos más destacados se encuentran los siguientes:

Bagnold (1954), con el fin de resolver problemas en zonas desérticas modela el transporte eólico realizando experimentos de laboratorio, en un tunel de viento y bajo condiciones controladas y propone que el transporte (q) en unidades de masa por unidades de longitud y tiempo, está dado por:

$$q = C \sqrt{\frac{d}{D} \cdot \frac{\rho_a}{g}} \cdot U^3 \quad (2)$$

donde D es el diámetro medio de una partícula típica igual a 0.25 mm, d es el diámetro medio de grano en cuestión,  $\rho_a$  es la densidad del aire, g es la aceleración debida a la

gravedad, y  $C$  es un parámetro que depende del grado de clasificación de la arena cuyos valores pueden variar entre 1.8 y 2.8, y  $U_c$  dada por la ecuación (1).

Kawamura (1951), modela el transporte de sedimento ( $q$ ) y lo expresa en unidades de masa por unidades de longitud y tiempo como:

$$q = k \cdot \frac{\rho_a}{g} (U_c - U_{*c}) (U_c + U_{*c})^2 \quad (3)$$

donde  $k$  es un coeficiente experimental, y  $U_{*c}$  es la velocidad crítica o incipiente dada por:

$$U_{*c} = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \cdot g \cdot d} \quad (4)$$

donde  $A$  es una constante experimental y  $\rho_s$  es la densidad de la arena.

Kadib (1964), estudió una playa natural de la costa de California, EUA, compara algunos de los modelos propuestos para predecir la razón de transporte y concluye que el modelo de Bagnold es el más confiable.

Belly (1964), por otro lado hace notar que la humedad del sedimento juega un papel importante dentro del

transporte, por lo que propone un factor de corrección por humedad aplicado en la Ec.4 utilizada por Kawamura y la expresa como:

$$U_{*t} = A \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \cdot g \cdot d (1.8 + 0.6 \log_{10}(w))} \quad (5)$$

donde  $w$  es el contenido de agua en los sedimentos en porcentaje de peso.

Horikawa y Shen (1960), revisan trabajos hechos por otros autores sobre el transporte medido directamente por medio de trampas y observan que ninguna de éstas proporcionan buenos resultados en medios ambientes costeros, por lo que proponen dos tipos; una horizontal y otra vertical, la horizontal se divide en secciones perpendiculares a la dirección del viento y es usada para medir el transporte por tracción y/o saltación del sedimento, ya que tiene la ventaja de no distorsionar el flujo del viento; y la vertical que consiste en una caja de 2 cm, de ancho por 30 cm. de alto, la cual proponen como el tipo de trampa con mayor eficiencia.

Hsu (1974), expresa el transporte de sedimentos en función de una constante y un número de Froude especiales con el fin de simplificar el cálculo utilizando datos de viento rutinarios, la cual escribe en la forma:

$$q = E \cdot \left( \frac{U \cdot}{\sqrt{g \cdot d}} \right)^3 = 64 \cdot E \cdot \left( \frac{U_m}{\sqrt{g \cdot d}} \right) \quad (6),(7)$$

donde  $U_m$  es la velocidad del viento medida entre 2 y 10m de elevación, y (E) es una constante de transporte la cual se calcula por la siguiente formula:

$$E = \exp(-0.47 + 4.97 \cdot d_{mm}) \cdot 10^{-4}$$

en donde d es el tamaño promedio de grano en mm. a ser transportado.

Svasek y Terwindt (1974), observan que existen diferencias entre los resultados medidos en el campo con respecto a los calculados con las ecuaciones propuestas por Bagnold y Kawamura, lo que atribuyen a las fuerzas capilares que actúan entre grano y grano, en una playa húmeda.

Jones y Willetts (1978), comparan las razones de transporte calculados por Bagnold en 1954, Belly en 1964 y Hsu en 1974 observando diferencias que atribuyen a que cada investigador diseña sus propios métodos de cálculo del transporte, por lo que es necesario considerar algunos factores importantes y diseñar cuidadosamente las técnicas de evaluación. Proponen una trampa de arena de tipo vertical, en la cual se tiene una válvula que permite ajustar el flujo de viento que pasa a través de ella. Hacen

experimentos en una duna natural, encontrando que es evidente que sucedan errores en mediciones directas del transporte, por lo que se requiere una trampa con la más mínima resistencia al flujo del viento y así poder disminuir los errores de muestreo.

Horikawa, et al (1982), realizan un estudio en el campo sobre el transporte de arena en superficies húmedas, analizan el comportamiento de la velocidad incipiente en arena con alto contenido de agua, la razón de transporte en superficies húmedas y los procesos de secado de las mismas y observan que cuando existe alto contenido de agua se produce una reducción en la razón de transporte, proponen a la evaporación como uno de los principales procesos que regulan el transporte la cual es función de la radiación solar y de la humedad del aire.

Horikawa, et al (1983), afirman que la mayoría de los trabajos realizados sobre el proceso de transporte eólico, son hechos en laboratorio; en túneles de viento, ocasionando una muy marcada falta de datos de campo con los cuales evaluar las fórmulas de predicción anteriormente propuestas. En su trabajo realizan experimentos en un túnel de viento y en el campo, observando que existe un contraste significativo lo que atribuyen a las diferencias entre las condiciones dinámicas del medio con respecto a condiciones

v controladas de laboratorio.

### **1.1.2 Particulares**

Para el caso particular de la Bahía de Todos Santos, existe el trabajo de González Yajimovich (1981), en el que evalúa mediante el modelo de Bagnold, el transporte utilizando datos metereológicos rutinarios para una playa de la Bahía y recomienda efectuar estudios en los cuales se considere el factor de humedad del sedimento para fines de corrección de resultados.

### **1.2 Objetivo**

El objetivo del presente trabajo es el de comparar los resultados obtenidos por medio de tres modelos de predicción de la razón de transporte eólico con resultados obtenidos directamente en una playa natural de la Bahía de Todos Santos, B.C.

## II AREA DE ESTUDIO

Para fines de este estudio se seleccionaron dos puntos en una playa natural dentro de la Bahía de Todos Santos, B.C., México., aproximadamente a 15 Km. al Sur de la ciudad de Ensenada, los cuales se localizan entre los  $31^{\circ}42'$  y  $31^{\circ}44'$  latitud Norte y  $116^{\circ}40'$  y  $116^{\circ}38'$  longitud Oeste, (estación A y B ) con una distancia entre ellos de 900 metros (fig.1).

La playa que contiene estos puntos está delimitada al Norte por la boca del Estero de Punta Banda y al Sur por cantiles costeros denominados Punta Banda, se encuentra sobre una barra de arena de 8.0 Km. de largo y 500m de ancho. El perfil de la duna en la zona correspondiente a las estaciones de muestreo tienen una pendiente para la estación A del 6% desde la base de la duna hasta la cara de la playa, y del 4% para la estación B. Sin embargo la pendiente entre la base y la parte superior de la duna para la estación A, presenta pendientes locales del 70%

El sedimento presente consiste en arenas finas bien clasificadas y con un rango de tamaño que va desde 2.00  $\phi$  hasta 3.00  $\phi$ .

El viento en la Bahía de Todos Santos presenta un comportamiento predominante en dirección Oeste-Noroeste, con intensidad promedio de 4 m/s durante el día

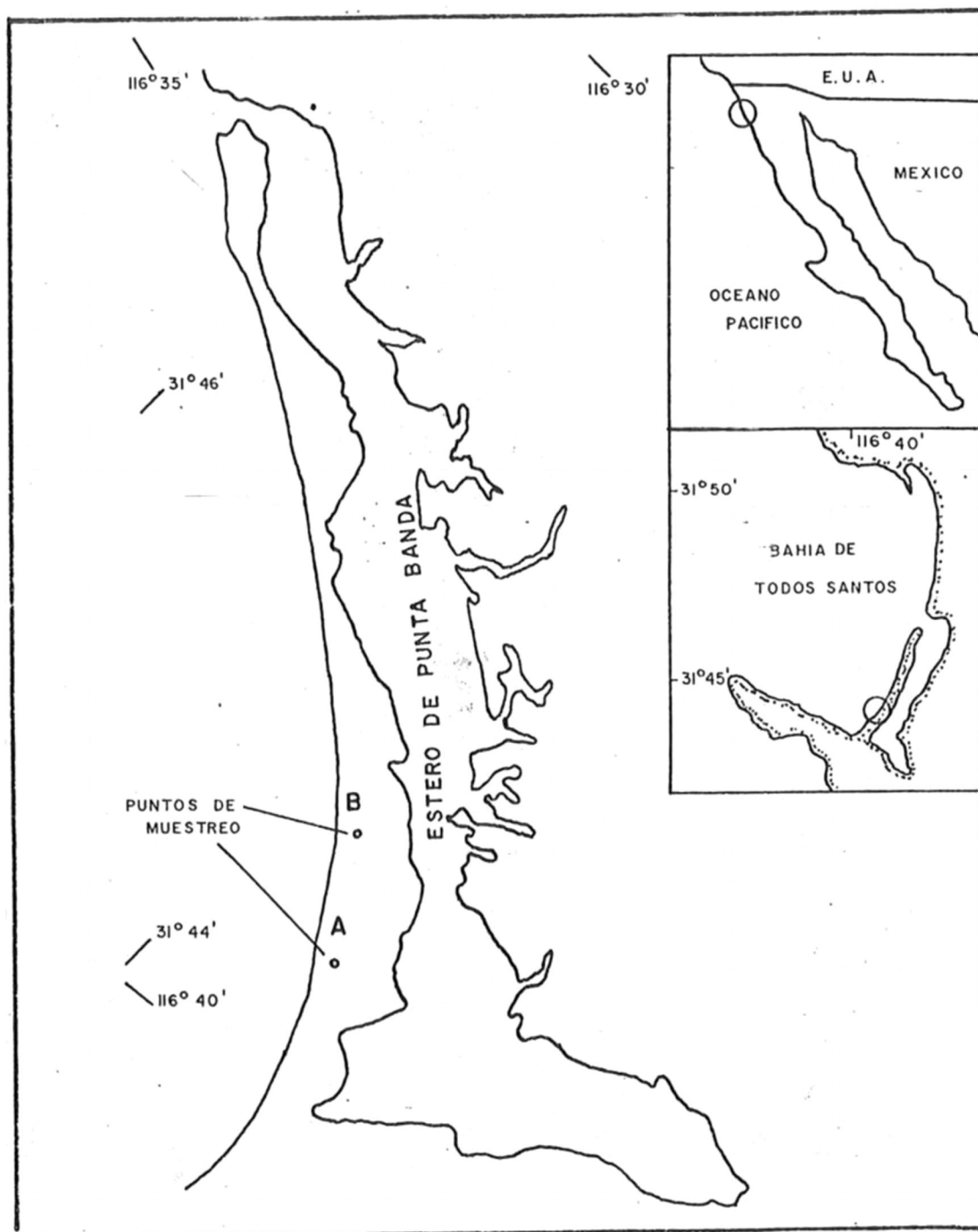


FIG. I LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

(Secretaría de Marina, 1974., Alvarez Sánchez, 1977). Por la noche el sentido se invierte aunque con muy baja intensidad, condición característica del sistema de brisas costeras (Secretaría de Marina, 1974., Pavía López, 1978).

### V III METODOLOGIA

En los meses de abril, agosto y octubre de 1985, se realizaron en el área de estudio jornadas intensivas de medición con una duración de 7, 8 y 4 días respectivamente.

En cada una de estas jornadas se obtuvo información de vientos, la razón de transporte de arena por acción del viento medida directamente por medio de trampas de arena y de la cantidad de humedad en la capa superficial. Por otro lado se implementaron en una microcomputadora los modelos ya descritos que predicen el transporte de sedimento.

A continuación se describen cada una de las técnicas utilizadas tanto en el campo como en el laboratorio.

#### 3.1 Técnicas de campo

##### 3.1.1 Vientos

Se recopiló información de la rapidez y dirección del viento en los niveles de 15, 75, 175 y 1000 cm sobre la superficie, con intervalos de 30 minutos para las jornadas de abril y agosto y de una hora en la de octubre. Las mediciones en los tres primeros niveles se hicieron con un anemómetro manual KHALSICO y en el nivel superior se utilizó una estación meteorológica autónoma AANDERAA la

cual se instaló en la parte superior de la duna.

### **3.1.2 Transporte directo medido a través de trampas**

En este experimento las trampas de arena utilizadas son una modificación a las diseñadas por Jones y Willetts, 1978, esta modificación consistió en dividir las en 5 niveles de muestreo, con el fin de observar los cambios en la razón de transporte en la vertical y cuyas dimensiones son 75 cm de alto por 2 cm de ancho por 25 cm de fondo (fig. 2). Se hicieron mediciones directas del transporte de arena utilizando 6 de estas trampas para los 3 períodos de muestreo, 5 fueron instaladas en la base de la duna orientadas en direcciones NE, N, NW, W, y SW, y la restante se instaló en la parte superior de la duna orientada en sentido NW, únicamente en la jornada de agosto, (fig. 3). Para el período de octubre, se utilizaron además dos trampas de tipo horizontal con dimensiones de 80 cm de ancho, 300 cm de largo y 20 cm de profundidad, en posiciones paralela y perpendicular a la línea de playa y su ubicación fue similar a los períodos de muestreo anteriores (en la base y en la parte superior de la duna).

### **3.1.3 Humedad de la capa superficial**

Se tomaron muestras de arena húmeda y semihúmeda de la capa superficial para los tres períodos de muestreo, a una

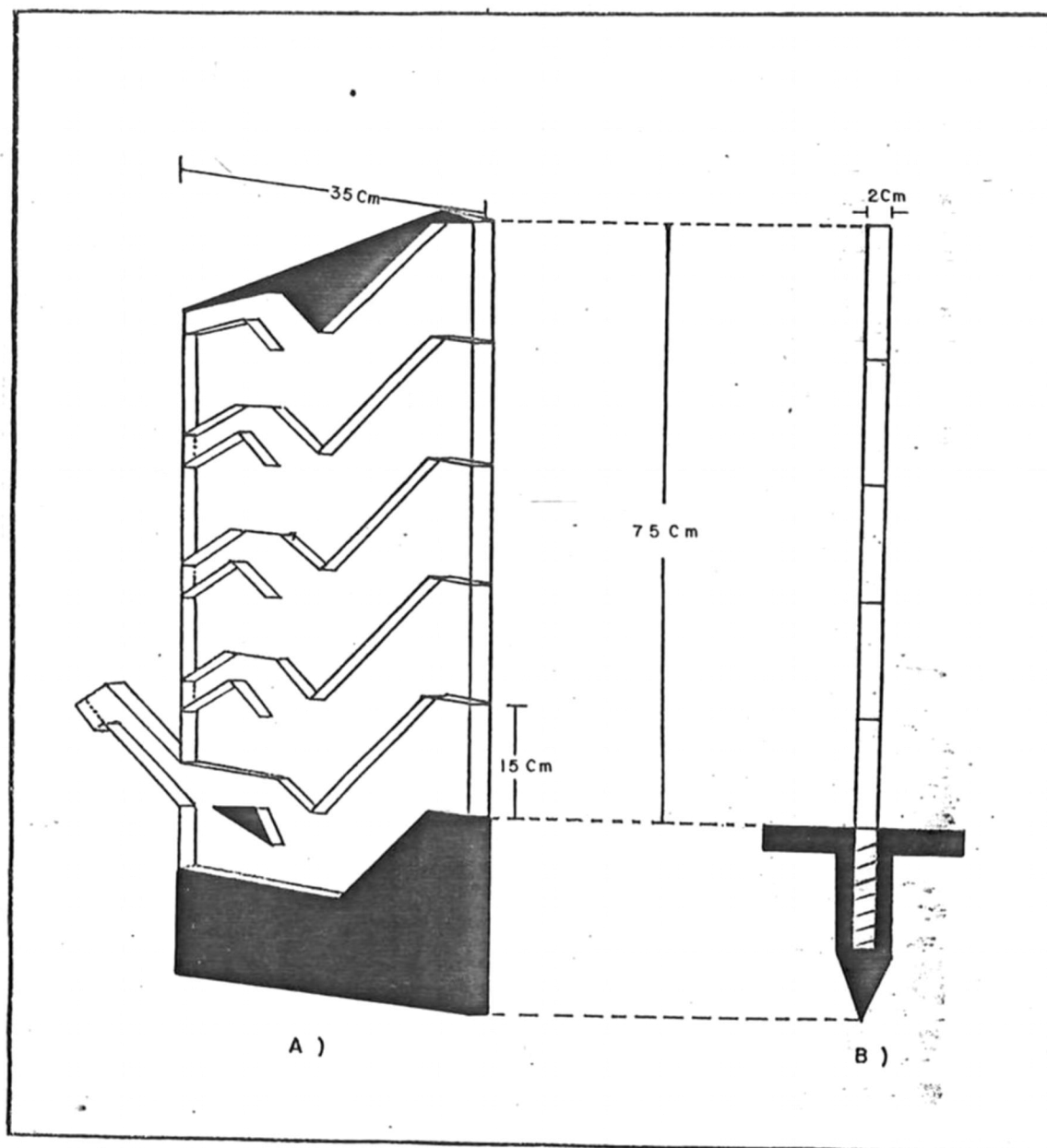


FIG. 2 - A) PERSPECTIVA DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LA TRAMPA DE ARENA.

B) VISTA FRONTAL DE LA MISMA.

distancia de 2 y 5m de las trampas respectivamente, pendiente abajo de la playa, el muestreo se realizó sobre los primeros 5mm del sedimento, cada 4 horas. Las muestras fueron almacenadas herméticamente en frascos debidamente etiquetados, para su posterior tratamiento en laboratorio.

### **3.2 Técnicas de laboratorio**

#### **3.2.1 Vientos**

Los registros de viento fueron recuperados y almacenados en archivos de computadora, para este fin se utilizó una lectora de cintas de la estación AANDERAA con el fin de convertir los datos del sistema binario al sistema decimal obteniendo archivos de rapidez y dirección de vientos para todas las jornadas de muestreo. También se realizaron tablas de registros de viento medidos con el anemómetro manual.

#### **3.2.2 Transporte directo medido a través de trampas**

Se determinó la cantidad de sedimento colectado en las trampas, utilizando una balanza METLER con precisión de 0.001g, obteniéndose resultados del transporte medido directamente en el campo, en dirección de las trampas, así como del nivel al que corresponden, para las tres jornadas de muestreo.

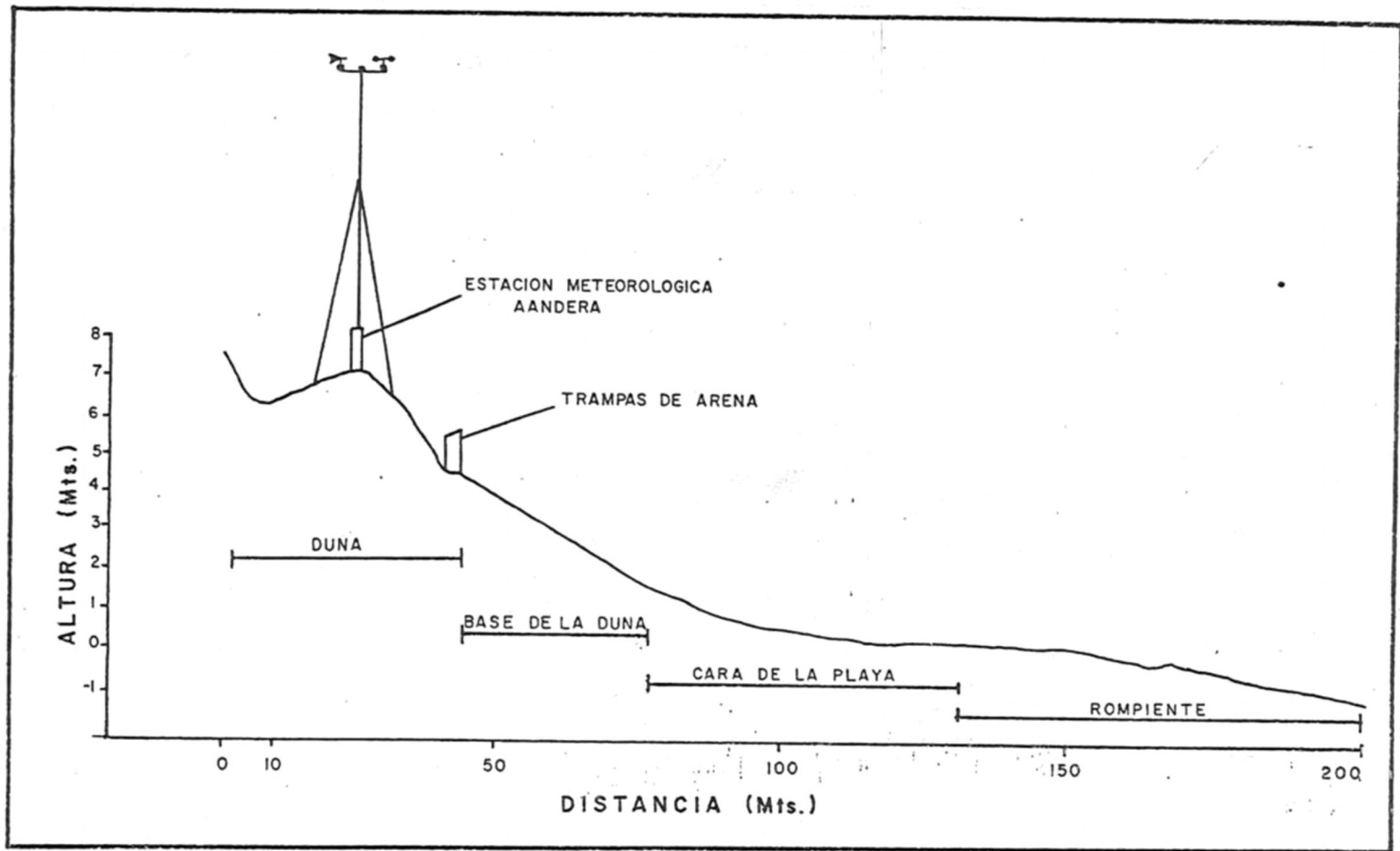


FIG. 3 LOCALIZACION DE LOS PUNTOS DE MUESTREO, SOBRE EL PERFIL DE LA ZONA DE ESTUDIO

### **3.2.3 Humedad de la capa superficial**

Las muestras de sedimento húmedo fueron tratadas en base al método directo, de acuerdo a Belly (1964), con el cual se determinó el porcentaje de contenido de humedad.

### **3.2.4 Analisis del tamaño de los sedimentos**

Se determinó el tamaño de grano para cada una de las muestras retenidas en las trampas, por el método descrito por Royse (1970), se utilizaron tamices U.S. standard, con intervalos de 0.5  $\phi$  y se calcularon los cuatro primeros parámetros estadísticos por medio del método de momentos, (Friedman, 1961).

### **3.2.5 Densidad del sedimento**

Se determinó la densidad de las muestras de sedimento utilizando un picnómetro según el método descrito por Dana y Ford, (1982).

### **3.2.6 Predicción del transporte**

De acuerdo a las ecuaciones 2, 3, 6 y 7 propuestas por Bagnold (1954), Kawamura (1951) y Hsu (1974) respectivamente, se implementaron dos programas de computadora, uno con el cual se calculó el transporte en unidades de peso (gramos) por unidad de longitud (cm.) y tiempo (seg.) para cada media hora en las jornadas de abril y agosto y de una

v hora para la de octubre, sin tomar en cuenta la dirección del viento únicamente su magnitud. Se aplicó de manera adicional el factor de corrección por humedad del sedimento (Ec.5) propuesto por Kadib (1964) en el modelo de Kawamura (Ec.3) (Apendice 1). El segundo programa se utilizó para el cálculo del transporte en dirección de las trampas y en relación a todas las jornadas de muestreo (Apendice 2). De manera de ejemplificar el proceso de calculo de este programa en la evaluación del transporte, se proponen los siguientes pasos:

- 1.- Se seleccionan todos los datos de dirección de viento  $\theta$ , cuyo valor se encuentra entre un intervalo definido por los límites Lim 1 y Lim 2, los cuales representan un radio de  $160^\circ$  en sentido de la dirección de cada trampa vertical.
- 2.- Se calcula el ángulo  $\alpha$  entre el rayo del viento  $\theta$ , y la dirección de la trampa  $\theta$ , para cada dato de viento.
- 3.- por último se calcula la proyección entre la boca o entrada de la trampa y el rayo de viento, y el transporte en relación a esta proyección (nueva longitud de la boca) así como la sumatoria de todo el transporte en este intervalo definido de direcciones (Figura 4).

El cálculo de la proyección está dado por:

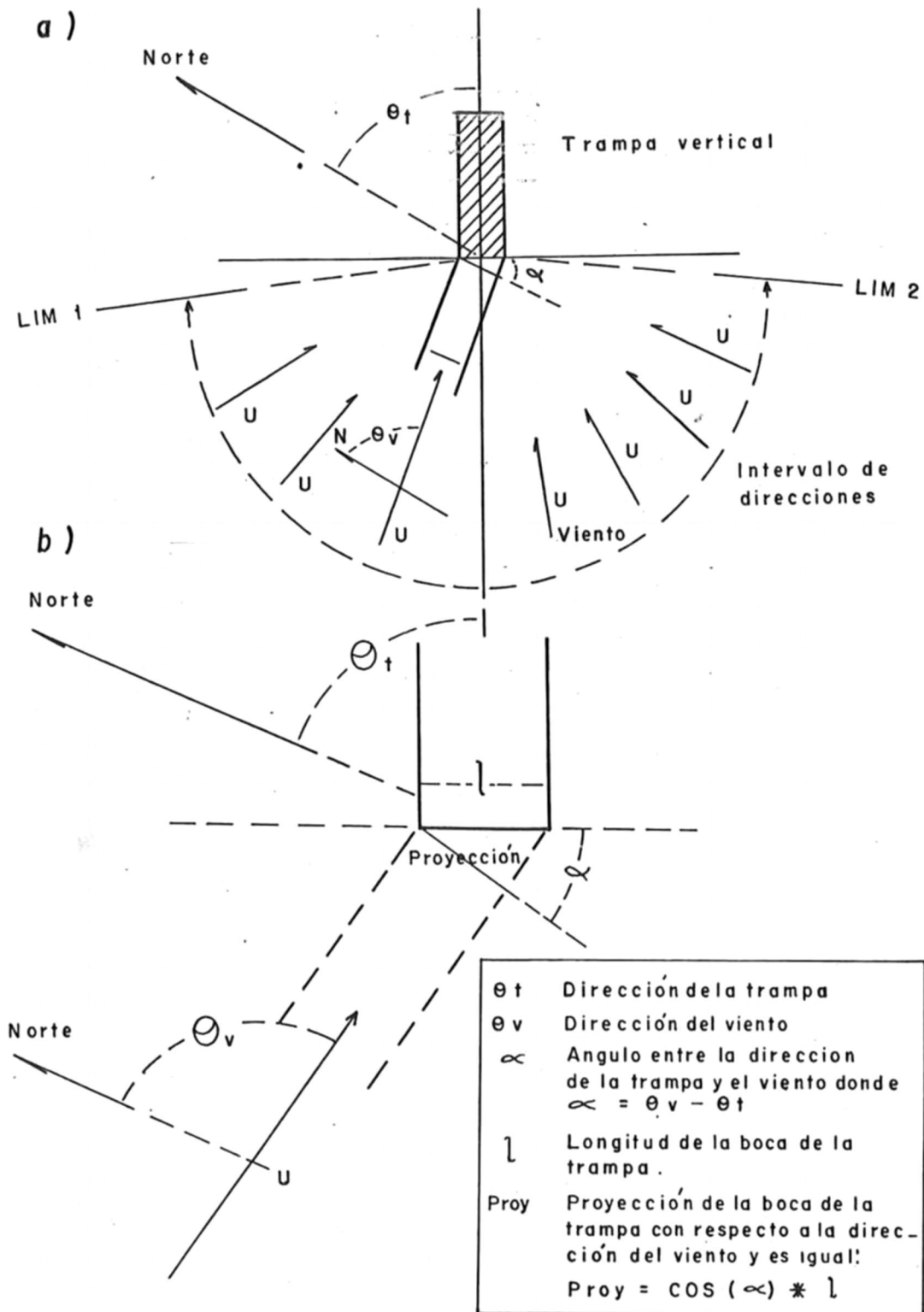


Fig.-4- a) DIAGRAMA GENERAL QUE MUESTRA LA RELACION ENTRE UN INTERVALO DE DIRECCIONES DE VIENTO CON RESPECTO A LA BOCA DE ENTRADA DE UNA TRAMPA.  
 b) DIAGRAMA PARTICULAR QUE MUESTRA LA DISPOSICION ENTRE LA DIRECCION DE UN RAYO DE VIENTO Y LA PROYECCION DE LA BOCA DE ENTRADA DE UNA TRAMPA.

$$PROY = \cos(\alpha) \cdot l$$

Donde *PROY* es la medida de ancho de la boca de la trampa calculada de acuerdo a la dirección entre el rayo de viento y la trampa,  $\alpha$  es el ángulo formado entre la dirección del viento y de la trampa y *l* es la longitud de abertura o boca de entrada de la trampa.

## IV RESULTADOS

En la tabla I se muestran los valores del transporte de arena por acción del viento calculados de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Bagnold, (2), Hsu, (6) y (7), y Kawamura, (3), así como el transporte obtenido a través de las trampas de arena utilizadas. La tabla II muestra la predominancia del viento en porcentaje de acuerdo a su dirección.

### 4.1 Trampas verticales

De los resultados obtenidos por las trampas verticales, en el 67% de los casos más del 90% del sedimento se retuvo en el primer nivel, es decir, se transportó dentro de los 15 cm cercanos al piso. Por otro lado, en el 80% de los casos más del 80% del sedimento se retuvo en los primeros dos niveles. Solamente en el 20% de los casos, una pequeña cantidad (menos del 8%) se retuvo en el quinto nivel. Es por esta razón, que el transporte correspondiente con cada uno de los niveles de las trampas, se sumó de manera de reportarlo en la tabla I, como transporte total en la vertical para cada trampa.

**TABLA I. RESULTADOS DEL TRANSPORTE EOLICO DE ACUERDO A LOS MODELOS PROPUESTOS POR BAGNOLD, HSU Y KAWAMURA ASI COMO TAMBIEN DE MEDICIONES DIRECTAS POR MEDIO DE TRAMPAS.**

		TRANSPORTE q (gramos/ancho de trampa y tiempo)					
		MODELOS					
DIR. TRAMP A	MES	BAGNOLD	HSU		KAWAMURA		TRAMPA Y TIPO
		Ec.2	Ec.6	Ec.7	Ec.3 w=0	Ec.3	
45°	ABRIL	102	143	700	3	0	V <sub>B</sub> 7
	AGOSTO	85	109	445	0	0	V <sub>B</sub> 3
	OCTUBRE	26	72	264	3	0	V <sub>B</sub> 32
360°	ABRIL	777	1,084	4,700	4	0	V <sub>B</sub> 15
	AGOSTO	1,107	1,421	4,623	59	0	V <sub>B</sub> 5
	OCTUBRE	29	81	234	12	0	V <sub>B</sub> 27
315°	ABRIL	1,078	1,503	6,463	3	0	V <sub>B</sub> 12
	AGOSTO	2,306	2,960	9,947	109	0	V <sub>B</sub> 7
	AGOSTO	2,869	7,606	14,473	5,771	150	V <sub>S</sub> 45
	OCTUBRE	640	1,768	3,278	850	0	V <sub>B</sub> 35
270°	ABRIL	754	1,052	4,504	0.1	0	V <sub>B</sub> 10
	OCTUBRE	1,112	3,070	5,670	1,485	0	V <sub>B</sub> 11
225°	ABRIL	96	134	606	0	0	V <sub>B</sub> 8
	AGOSTO	1,202	1,543	6,079	33	0	V <sub>B</sub> 7
	OCTUBRE	1,380	3,811	6,470	2,756	0	V <sub>B</sub> 382
TODAS DIR.	OCTUBRE OCTUBRE	59,753	111,030	249,508	35,788	0	H <sub>B</sub> 30,940 H <sub>S</sub> 40,562

v. Para las trampas ubicadas en la base de la duna ( $V_s$ ), se observa que el valor es mayor en el período de octubre en todas las direcciones con respecto a las otras jornadas de muestreo.

En la trampa de la parte superior de la duna ( $V_s$ ) en dirección  $315^\circ$  utilizada en el período de agosto, el transporte es mayor comparado con los valores obtenidos en la base de la duna para el mismo período y en relación a todas direcciones de muestreo.

#### 4.2 Trampas horizontales

El transporte obtenido en las trampas horizontales, de la base y parte superior de la duna ( $H_s$ ), ( $H_s$ ) respectivamente, utilizadas únicamente en el período de octubre en dirección  $315^\circ$ , es igualmente similar al transporte predicho por la ecuación (3) con  $w=0$ .

Otro resultado obtenido de este tipo de trampa es un mayor transporte para la parte superior de la duna, comparado con el resultante en la base de la misma.

#### 4.3 Predicción del transporte

##### 4.3.1 Modelo de Bagnold

De acuerdo a la ecuación (2) propuesta por Bagnold, los resultados calculados de transporte son muy diferentes con

respecto a los resultados de las trampas verticales, salvo en dos casos, en el período de octubre y en direcciones de  $45^\circ$  y  $360^\circ$  en los que el transporte calculado es similar al obtenido en las trampas. Por otro lado, el transporte obtenido de las trampas horizontales es del mismo orden de magnitud.

#### 4.3.2 Modelo de Hsu

El modelo propuesto por Hsu (Ec. 6 y 7), presenta dos maneras de computar el transporte, la diferencia entre éstas, es que en la Ecuación (6) se utiliza la velocidad cortante  $U$ , obtenida de la Ecuación (1) y en la Ecuación (7) se utiliza la velocidad del viento medida  $U_{m/s}$ . De los resultados de la Ec. (6) se nota que el transporte calculado difiere bastante de los obtenidos por las trampas, tanto verticales como horizontales.

Para la Ecuación (7) se observa el mismo comportamiento de los resultados de la Ec. (6), aunque los valores calculados son diferentes entre sí.

#### 4.3.3 Modelo de Kawamura

En este modelo Ec. (3) se obtienen dos tipos de resultados, uno al calcular el transporte sin tomar en

**TABLA II. DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO PARA LOS PERIODOS DE MUESTREO EN PORCENTAJE.**

DIRECCION DEL VIENTO					
PERIODO	NE 45°	N 360°	NW 315°	W 270°	SW 225°
ABRIL	5%	10%	75%	5%	5%
AGOSTO	5%	8%	50%	15%	22%
OCTUBRE	11%	4%	9%	55%	22%

cuenta la humedad del sedimento ( $w=0$ ) como un factor de corrección y el otro tomando en cuenta dicho factor, Ec. (5).

De los resultados de la Ec. (3) con ( $w=0$ ) la mayoría de los casos, el transporte es muy similar en orden de magnitud al obtenido por las trampas verticales para todas las jornadas y direcciones de muestreo, salvo en algunos casos como el de las trampas con orientación de  $315^\circ$ ,  $270^\circ$  y  $225^\circ$  para los periodos de agosto de la parte superior de la duna y octubre en las dos últimas direcciones respectivamente, en los que el transporte calculado por el modelo es mayor en dos órdenes de magnitud que el transporte obtenido por las trampas. Para los resultados de las trampas horizontales, el valor predicho con ( $w=0$ ) es muy similar.

Para la Ecuación (3) con el factor de corrección por humedad, los resultados obtenidos son menores en general, salvo para la trampa vertical ( $V_s$ ) con dirección  $315^\circ$  del periodo de agosto, en la que el transporte es mayor que el obtenido por la trampa.

#### 4.4 Dirección predominante del viento

Para el mes de abril se registraron un total de 353 datos de viento, de los cuales solamente 281 datos son en sentido de cualesquiera de las direcciones utilizadas por

nuestro sistema de trampas. Los resultados en porcentaje de dirección se muestran en la tabla II, donde se observa una predominancia en sentido NW, con respecto a las otras direcciones.

Para la jornada de agosto se registraron un total de 402 datos, de los cuales 358 fueron en sentido de las trampas verticales. Se observó una dirección predominante para los cuadrantes NW y SW. Por último para la jornada de octubre fueron 105 datos, de los cuales solamente 75 son en sentido del sistema. Para este período la dirección predominante fue en sentido W y SW.

## V DISCUSION

En los estudios realizados sobre transporte de sedimentos por acción del viento, se han tenido problemas tanto al realizar mediciones directas como en el uso de modelos de predicción, debido a la diferencia entre las técnicas utilizadas, así como también en la aplicación de parámetros importantes que afectan este proceso (Svasek y Terwindt, 1974; Jones y Willets, 1978).

De acuerdo a los resultados de este experimento, entre los puntos más importantes a discutir tenemos:

### 5.1 Trampas verticales

De acuerdo a los resultados de la tabla I, el transporte en la base de la duna y en relación a todas las direcciones de las trampas, es mayor en el periodo de octubre comparado con los de abril y agosto, lo cual puede explicarse por la variación en la inclinación de la duna, entre los puntos de muestreo. En abril y agosto las trampas verticales fueron instaladas en la estación A, en la cual la pendiente entre la cara de la playa y la base de la duna era del 6%; sin embargo una diferencia mas notable entre ambas estaciones fue la pendiente local que presenta la duna entre la base y la parte superior, para la estación A su valor fue del 70%, mayor que para la estación B

utilizada para el mes de octubre. Tomando como base lo anterior y de acuerdo a Svasek y Terwindt (1974), para una inclinación mayor de la duna, el comportamiento del viento puede verse afectado ocasionando que el flujo de la corriente cambie y por consiguiente el transporte sea modificado. Por otro lado, analizando las velocidades del viento para las tres jornadas de muestreo, se observó un comportamiento de velocidad de mayor magnitud para octubre con respecto a las otras, por lo cual esperaríamos encontrar estos resultados.

Otro resultado que la tabla I muestra, es un mayor transporte para la parte superior de la duna, comparado con la base de la misma en el período de agosto en dirección  $315^\circ$ . Un punto importante es la diferencia de tamaño en las arenas tanto de la base como en la parte superior de la duna; se observaron tamaños más gruesos en la base, así como una gradación hacia tamaños más finos con respecto a la altura de la duna, esto aunado a que las velocidades deben de ser mayores en la parte superior de la duna de acuerdo a la distribución de velocidades propuesta por Von-Karman (1934), nos hace esperar mayor transporte en esta parte de la duna. Por otro lado de acuerdo a la tabla II, se observa que para este período de muestreo, la dirección predominante del viento fue en dirección NW  $315^\circ$ , con lo que afirmamos los resultados encontrados y

v explicamos las diferencias encontradas con respecto a las trampas con diferente orientación para este período. Cabe mencionar que en este período, el muestreo se llevó a cabo en la estación A en donde la pendiente de la duna era mayor, por lo cual se podría suponer que el comportamiento del viento se viera afectado ocasionando separación del flujo.

Otro resultado obtenido de este tipo de trampas, es la variación del transporte con respecto a la vertical, en el que se observa predominancia del 90% en los primeros 15cm del piso (primer nivel de la trampa) comparado con el resto de la misma, esto es debido a que el principal modo de transporte eólico en playas es el de saltación, para el cual se ha observado en estudios de laboratorio que las trayectorias de los granos de sedimento cuando son transportadas, pueden alcanzar distancias hasta de un decímetro de altura y algunos decímetros de longitud, y que tanto la altura como la longitud de la trayectoria, está en función de la velocidad del viento (Bagnold, 1973). Este resultado es importante por su aplicación práctica en la solución de problemas sobre estabilización de dunas, debido a que de ser necesario, nos permite establecer criterios para la altura de los cercos que se utilicen.

## 5.2 Trampas horizontales

El transporte medido por este tipo de trampas, tanto en la base como en la parte superior de la duna, es mayor que el obtenido con las trampas verticales para el mismo período de muestreo. Estudios realizados por Horikawa y Shen (1960) y Jones y Willetts (1978), establecen diferencias básicas entre los diferentes tipos de trampas; proponen al tipo vertical como el más eficiente, porque proporciona resultados del transporte en una dirección y nos permite ver la variación de éste en la vertical, sin embargo, este tipo de trampa presenta deficiencia en cuanto al muestreo, debido a que actúa como un obstáculo para el flujo del viento, lo que ocasiona erosión (excavación) en los alrededores de la boca de la misma. Por otro lado, para el tipo horizontal destaca la desventaja de que los resultados obtenidos son en todas direcciones, de aquí las diferencias encontradas en los resultados de ambos tipos de trampas.

## 5.3 Modelos de predicción

### 5.3.1 Modelo de Bagnold

Se comparó el transporte predicho por este modelo (Ec.2), con el obtenido por las trampas verticales (tabla I), no se observó similitud a excepción de dos valores para

el período de octubre en direcciones  $45^\circ$  y  $360^\circ$ , en los cuales los valores predichos son muy parecidos a los obtenidos por las trampas. Con el fin de explicar estas diferencias encontradas en la mayoría de los valores calculados, se utilizaron los resultados de la tabla II, de manera de encontrar una relación entre la predominancia de viento y dichos valores. Sin embargo, esta relación no fue clara, lo que nos permite sugerir que posiblemente el transporte haya sido sobrestimado por la falta dentro del modelo de la velocidad incipiente o de umbral de movimiento, la cual actúa como un filtro de las velocidades de viento que realmente contribuyen en el transporte.

Se observa en la tabla I, que el transporte de las trampas verticales para el período de agosto  $315^\circ$  de la base, así como de la parte superior de la duna, son diferentes entre sí y comparados con el predicho para este período y dirección, los valores son entre sí muy similares a diferencia de lo que esperaríamos encontrar, por la diferencia en tamaño de sedimento.

### 5.3.2 Modelo de Hsu

Dos series de resultados se muestran en la tabla I, con respecto a la predicción del transporte por este modelo; una serie para la ecuación (6), donde se utiliza la  $U$  obtenida de la ecuación (1), y la otra para la ecuación

(7), en la que el cálculo se hace con la velocidad del viento medida a 10 m del piso. Hsu (1974), con el fin de optimizar el cálculo del transporte utilizando datos rutinarios de viento, hace una parametrización de la velocidad cortante  $U$ . entre 2 y 10 m; sin embargo, para fines de nuestro estudio se realizó el cálculo en ambas formas (ecuaciones 6 y 7) con el fin de compararlos, y se observó que los resultados difieren, por lo cual cabe notar que al utilizar la ecuación (7) el transporte ha sido parametrizado con el valor promedio de la velocidad cortante  $U$ ., para velocidades de viento entre 2 y 10 m, a diferencia del cálculo con la ecuación (6), en la que se utiliza el valor de la velocidad cortante  $U$ . para cada dato de viento, lo que explica las diferencias encontradas.

Por otro lado, del transporte predicho por ambas fórmulas (ec. 6 y 7), comparado con los resultados obtenidos de las trampas, tanto verticales como horizontales, no se observa concordancia alguna, existe una sobrestimación del transporte por parte del modelo, posiblemente por la falta de una variable que regule, a partir de qué valor de velocidad de viento existe transporte, esto es que establezca el intervalo de velocidades de viento que contribuyen al transporte.

### 5.3.3 Modelo de Kawamura

En la tabla I se observan dos tipos de resultados para el modelo de Kawamura; uno, sin tomar en cuenta el factor de corrección por humedad (Ec.3 con  $w=0$ ), y otro, en el cual es computado el factor de humedad.

De los valores predichos por la ecuación (3) con  $w=0$ , los valores máximos corresponden con los períodos agosto 315°, octubre 270°, octubre 225° y octubre en todas direcciones, siendo esta última la de mayor transporte, debido a que el cálculo se hizo tomando las velocidades del viento para todas direcciones. Cabe hacer notar que el transporte para agosto 315°, octubre 270° y 225°, concuerda en cuanto a dirección con los resultados de la tabla II, en los que se observan altos porcentajes de dirección predominante en estas direcciones, con lo cual explicamos los resultados encontrados.

Por otro lado los resultados de este modelo con el factor de humedad, muestran valores iguales a 0, a excepción de un valor que corresponde al período de agosto en dirección 315°. Experimentos realizados por Horikawa y otros (1982), demuestran que para velocidades de viento de 12 m/s, el transporte no se efectúa si el contenido de humedad de la capa superficial es mayor del 11%. En este experimento, el contenido de humedad varió entre 4 y 12%

con velocidades de viento para las tres jornadas entre 1 y 10 m/s. La humedad tiende a aumentar el valor de la velocidad crítica, y aunado a condiciones de bajas velocidades de viento, hace que el transporte no se lleve a cabo.

Al comparar los resultados del modelo (con y sin la humedad) contra los de las trampas verticales, se observa que los valores no coinciden, salvo en orden de magnitud. Para la mitad de los casos la cantidad retenida en las trampas tiene un valor intermedio entre los valores, tomando o no en cuenta la humedad.

Por último, en las trampas horizontales se ve claramente que los resultados concuerdan muy bien con lo predicho por Kawamura, sin tomar en cuenta la humedad, esto nos sugiere que las trampas horizontales proporcionan mejores resultados.

Este modelo propuesto como de los de mayor uso, presenta ventajas comparado con otros modelos, por un lado debido a que utiliza la velocidad incipiente  $U_c$ , (ecuación 2), la cual actúa como un filtro de separación de los datos de viento que realmente contribuyen en el transporte. Y por otro lado presenta la opción en la aplicación de un factor

de corrección de resultados por la humedad del sedimento propuesto por Belly (1964) (ecuación 5), por lo que nos permite esperar mejores resultados.

En cuanto a la humedad, cabe mencionar que existen dos tipos que afectan el transporte: la humedad del aire, la cual es muy pequeña; y la humedad del sedimento en ambientes de playa, en donde éste tiene mucha importancia debido a que es originada principalmente por irrigación por oleaje de la zona, Belly (1964). Esto a sido corroborado por Svasek y Terwindt (1974) y Horikawa et al (1982).

## VI CONCLUSIONES

a) Para las playas de la Bahía de Todos Santos la mejor predicción del transporte eólico es la del modelo de Kawamura.

b) Existe mayor concordancia entre el modelo de Kawamura sin tomar en cuenta la humedad del sedimento, con lo retenido en las trampas horizontales que en las verticales, aunque cabe mencionar, que este tipo solamente se utilizó en una jornada, por lo cual se recomienda hacer más mediciones.

c) Las variaciones en el contenido de humedad de los sedimentos afectan sensiblemente los resultados, por lo que su estimación debe de ser muy precisa y debe estudiarse aún más.

d) Los problemas de azolve por vientos en la Bahía de Todos Santos, se pueden evitar estabilizando las dunas con cercos de no más de 30 cm de altura.

## VII BIBLIOGRAFIA

- Alvarez Sanchez, L.G. 1977. Vientos en la Bahía de Todos Santos, B.C. Ciencias Marinas vol. 4 (1): 81-89.
- Bagnold, R.A. 1954. The physics of blown sand and desert dunes. William Morrow and Co. New York. 265 pp.
- Bagnold, R.A. 1973. The nature of saltation and of "bed load" transport in water. Proc. R. Soc. London. A 332, 473 - 504 pp.
- Belly, P.Y. 1964. Sand movement by wind. University of California Institute of Engineering research report series 72. Issue 7. 90 p.
- Dana, S.E. y W.B. Ford. 1982. Tratado de Mineralogía. Compañía Editorial Continental S.A. México. Décima Edición. 246-252 pp.
- Friedman, G.M. 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. Journal Sed. Petrol. vol 37.
- Gonzalez Yajimovich, O.E. 1981. Transporte eólico en una porción de playa de la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura, Escuela Superior de Ciencias Marinas, U.A.B.C. Ensenada, B.C. México. 32 p.

- Horikawa, K. and U.W. Shen. 1960. Sand movement by wind - on the characteristics of sand traps. Beach Erosion Board Technical Memo. 119, 51 p.
- Horikawa, K., S. Hotta. and Kubota, S. 1982. Experimental study of blown sand on a wetted sand surface. Coastal Engineering in Japan. Vol. 25, 177-195 pp.
- Horikawa, K.S. Hotta., Kubota, S. and S. Katori. 1983. On the sand transport rate by wind on a beach. Coastal Engineering in Japan. Vol. 26, 101-120 pp.
- Hsu, S.A. 1974. Computing eolian sand transport from routine weather data. Coastal Engineering. vol. II. Copenhagen, Denmark. 1652 p.
- Jones, J.R. and B.B. Willetts. 1978. Error in measuring uniform aeolian sand flow by means of an adjustable trap. Dep. of Engineering. University of Aberden. Scotland. Sedimentology 26, 463-468 pp.
- Kadib, A.L. 1964. Calculation procedure for sand transport on natural beaches. University of California, Berkeley. Eng. Res. Center Report. 25 p.
- Kawamura, R. 1951. Study of sand movement by wind. Report of the Intitute of Sciences and Technology of Tokio. Vol. 5(3/4).

- O'brien, M.P. and B.D. Rindlaub. 1936. The transportation of sand by wind. *Civil Engineering*. 6(5): 325-327.
- Pavia López, E.G. 1978. Brisas en la Bahía de Todos Santos, B.C. durante los meses de marzo a agosto de 1978. Tesis Profesional. Escuela Superior de Ciencias Marinas. U.A.B.C. Ensenada, B.C. México. 52 p.
- Royse, Ch. 1970. An introduction to the sediment analysis. Arizona State University. Publication. 101 p.
- Secretaria de Marina. 1974. Estudio geografico de la region de Ensenada, B.C. 61-68, 144-153 pp.
- Svasek, J.N. and J.H.J. Terwindt. 1974. Measurements of sand transport by wind on a natural beach. *Sedimentology*. 21 (2): 311-322 pp.
- Von Karman, T. 1934. Turbulence and skin friction. *Jornal Aero. Science*. vol. 1. 187 p.
- Zingg, A.W. 1953. Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material. Proc. of fifth hydraulics conference. State University of Iowa. Studies in Engineering. Bull. 34. 111-135 pp.

# APENDICE 1

```

C   **PROGRAMA PARA CALCULAR EL TRANSPORTE EOLICO (q) EN **
C   **UNIDADES DE MASA POR UNIDAD DE LONGITUD Y TIEMPO DE **
C   **ACUERDO A LOS MODELOS DE PREDICCIÓN DE BAGNOLD (Ec.2)**
C   **HSU (Ec. 6, Y 7) Y KAWAMURA (Ec.3) CON Y SIN EL FACTOR**
C   **DE CORRECCION POR HUMEDAD (Ec. 5)

      CHARACTER*64 DATOS,SALIDA
      DIMENSION X(3,500),QB(500),QK(2,500),QH(2,500),UAST(500)
      #,UASTT(500)

C   **DECLARACION DE CONSTANTES DR = DIAMETRO DE REFERENCIA**
C   **ROA Y ROS = DENSIDAD DEL AIRE Y EL SEDIMENTO RESPECT.**
C   **G = GRAVEDAD Y VK = CONSTANTE DE VON KARMAN. *****

      DR = 0.25
      ROA = 0.00129
      ROS = 2.72
      G = 981.0
      VK = 6.13

      WRITE(*,*) 'DIAMETRO DEL SEDIMENTO EN MM.'
      READ(*,*) DS
      WRITE(*,*) 'ALTURA DE MEDICION DE VIENTO EN CM.'
      READ(*,*) ZETA
      WRITE(*,*) 'NUMERO DE DATOS'
      READ(*,100) NDAT
      WRITE(*,*) 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS'
      READ(*,110) DATOS
      WRITE(*,*) 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS'
      READ(*,110) SALIDA
      WRITE(*,*) 'INTERVALO DE MUESTREO EN HRS.'
      READ(*,*) DELTAT

C   **CONVERSION DEL INTERVALO DE MUESTREO EN HRS. A SEG.**

      T = 3600.0 * DELTAT

C   **LECTURA DE DATOS DE VIENTO Y APERTURA DE ARCHIVOS DE **
C   **ENTRADA Y SALIDA. *****

      OPEN (3,FILE=DATOS,STATUS='OLD')
      OPEN (4,FILE=SALIDA,STATUS='NEW')
      READ(3,120) ((X(I,J),I=1,3),J=1,NDAT)

C   **SE CALCULA EL VALOR DE ZPRIMA (ALTURA DE UMBRAL DE**
C   **MOVIMIENTO) EN CM. *****

```

# APENDICE 1 (CONT.)

```

ZPRIMA = DS

XLOGZ = LOG10(ZETA/ZPRIMA)
RDD = SQRT(DS/DR)
ROAG = ROA/G
  RGD = SQRT(G*DS/10.0)
  UPRIMA = 20.0*DS*1609.0/36.0
  XKBIPR = 0.0001*EXP(-0.47+4.97*DS)
  UA = VK*XLOGZ

**CALCULO DE LA VELOCIDAD INCIPIENTE (Ec. 4)****

UAS = (ROS-ROA)/ROA
UAS = 0.1*SQRT(UAS)*RGD

**CALCULO DE LA VELOCIDAD CORTANTE (UAST) (Ec.1) Y DE **
**LA VELOCIDAD INCIPIENTE TOMANDO EL FACTOR DE CORREC-**
**CION POR HUMEDAD (UASTT) (Ec.5). ***

DO 10 J =1,NDAT
UAST(J) = (X(1,J)-UPRIMA)/UA
UASTT(1,J) = UAS*(1.8+0.6*LOG10(X(3,J)))

**CALCULO DEL TRANSPORTE (q) PARA BAGNOLD (QB),KAWAMURA (QK)**
**CON Y SIN EL FACTOR DE HUMEDAD Y POR ULTIMO PARA HSU (QH) **
**SE CALCULAN DOS TIPOS DE RESULTADOS (Ec.6) SE UTILIZA LA ***
**VELOCIDAD CORTANTE (UAST) Y (Ec.7) SE UTILIZA LA VELOCIDAD *
**CORTANTE PROMEDIO DE VELOCIDADES MEDIDAS ENTRE 2 Y 10 METROS*

QB(J) = T*ROAG*RDD*UAST(J)**3

QK(1,J) = T*ROAG*(UAST(J)-UAS)*(UAST(J)+UAS)**2
QK(2,J) = T*ROAG*(UAST(J)-UASTT(1,J))*(UAST(J)+UASTT(1,J))**2

QH(1,J) = T*XKBIPR*(UAST(J)/RGD)**3
QH(2,J) = T*XKBIPR*(X(1,J)/(100.0*RGD))**3

10 WRITE(4,1)X(2,J),QB(J),QK(1,J),QK(2,J),QH(1,J),QH(2,J)
1  FORMAT (7F10.4)
100 FORMAT (14)
110 FORMAT (A)

** FORMATO DE LOS DATOS DE VIENTO**

120 FORMAT (1X,F15.2,F15.4,2F15.2)

CLOSE(3,STATUS = 'KEEP')
CLOSE(4,STATUS = 'KEEP')
STOP'***** LISTO *****'
END

```

## APENDICE 2

```

**PROGRAMA QUE CALCULA EL TRANSPORTE EN DIRECCION DE **
**UNA TRAMPA DADA EN UNIDADES DE MASA POR UNIDAD DE **
**LONGITUD DE LA ABERTURA DE LA TRAMPA Y POR UNIDAD DE **
**TIEMPO. *****

```

```
CHARACTER*64 DATOS, SALIDA
```

```
REAL ALFA,BETA,XLIM1,XLIM2,ANG,PROY
```

```
INTEGER NDAT
```

```
DIMENSION X(7,500),A(7)
```

```
*****CONVERSION DE PI A RADIANES. *****
```

```
PI = 3.14159297
```

```
PI2 = 2.0 * PI
```

```
WRITE (*,*)'ARCHIVO DE DATOS'
```

```
READ (*,100) DATOS
```

```
WRITE (*,*)'ARCHIVO DE RESULTADOS'
```

```
READ (*,100) SALIDA
```

```
WRITE (*,*)'NUMERO DE DATOS'
```

```
READ (*,110) NDAT
```

```
OPEN (3,FILE = DATOS,STATUS = 'OLD')
```

```
OPEN (4,FILE = SALIDA,STATUS = 'NEW')
```

```
**LECTURA DE LOS DATOS DIRECCION, QB, QK1, QK2, HSU1 **
```

```
**Y HSU2. *****
```

```
READ (3,120)((X(I,J),I = 1,7),J = 1,NDAT)
```

```
DO 50 K=1,5
```

```
DO 5 I=1,7
```

```
A(I) = 0.0
```

```
WRITE (*,*)'AZIMUTH DE LA TRAMPA'
```

```
READ (*,*) BETA
```

```
**CONVERSION DEL AZIMUT DE LA TRAMPA A RADIANES. **
```

```
ALFA = BETA * PI/180.0
```

```
**DETERMINACION DEL INTERVALO DE DIRECCIONES EN SENTIDO **
```

```
**DE LA BOCA DE LA TRAMPA. *****
```

```
XLIM1 = ALFA+ PI/2.0
```

```
XLIM2 = XLIM1+PI
```

```
IF (XLIM1.GE.PI2) XLIM1 = XLIM1-PI2
```

```
IF (XLIM2.GE.PI2) XLIM2 = XLIM2-PI2
```

## APENDICE 2 (CONT.)

```

**CONVERSION DE LA DIRECCION DEL VIENTO AZIMUTAL A RADIANES**

DO 40 J = 1,NDAT
DIRAD = X(1,J)*PI/180.0

**COMPARACION ENTRE LOS LIMITES DEL INTERVALO DE DIRECCION**
**Y LOS VALORES DE DIRECCION DEL VIENTO. *****

IF(XLIM1.LT.XLIM2) GO TO 7
IF(DIRAD.GE.XLIM2.AND.DIRAD.LE.XLIM1) GO TO 9
GO TO 40
IF(DIRAD.GE.XLIM1.AND.DIRAD.LE.XLIM2) GO TO 40

**CALCULO DEL ANGULO ENTRE LA DIRECCION DEL VIENTO Y LA **
**DIRECCION DE LA TRAMPA. *****

ANG = ABS(DIRAD-ALFA)

**CALCULO DE LA PROYECCION ENTRE LA BOCA DE LA TRAMPA **
**Y LA DIRECCION DEL VIENTO DONDE LA BOCA MIDE 2.0 CM.**

PROY = COS(ANG)*2.0
**CALCULO Y SUMATORIA DEL TRANSPORTE EN SENTIDO DE LA TRAMPA**

DO 10 I = 2,7
IF(X(I,J).GT.0.0) A(I) = A(I) + X(I,J)*PROY
CONTINUE
CONTINUE

**ESCRITURA DE RESULTADOS. *****
WRITE(4,130) BETA
WRITE(4,140) (A(I), I=2,7)
CONTINUE
FORMAT(A)
FORMAT(14)

**FORMATO DE LECTURA DE LOS DATOS. *****
FORMAT(7F10.4)
FORMAT(/,'AZIMUTH DE LA TRAMPA ',F4.0)
FORMAT(6F10.4)
CLOSE(3,STATUS='KEEP')
CLOSE(4,STATUS='KEEP')
STOP !***** LISTO *****
END

```